

ISSN 2309-1339



ВЕСТНИК БАРГУ

BARSU HERALD

СЕРИЯ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SERIES
ENGINEERING



№ 2 (12) 2022

Вестник БарГУ

Научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 года
Выходит 2 раза в год

№ 2 (12), ноябрь, 2022

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования
«Барановичский государственный университет».

Адрес редакции:

ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.
Телефон: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Подписные индексы: 00999 — для индивидуальных подписчиков; 009992 — для организаций.
Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включён в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам.

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включен в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-01/2016.

Выходит на русском, белорусском и английском языках.
Распространяется на территории Республики Беларусь.

Заведующий редакционно-издательской группой А. Ю. Сидоренко
Технический редактор Л. Н. Щербук
Компьютерная вёрстка С. М. Глушак
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 27.10.2022. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага ксероксная. Печать цифровая.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,00. Уч.-изд. л. 9,00.
Тираж 100 экз. Заказ . Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское областное унитарное полиграфическое предприятие «Слонимская типография».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014. Адрес: ул. Хлюпина, 16, 231800 г. Слоним, Гродненская обл.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кочурко В. И. (гл. ред. журн.), доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, заслуженный работник образования Республики Беларусь, профессор кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Климук В. В. (зам. гл. ред. журн.), кандидат экономических наук, доцент, первый проректор (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Алифанов А. В. (гл. ред. сер.), лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь; учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Горбач Ю. Е. (отв. секретарь сер.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Зубрицкая Л. С. (ред. текстов на англ. яз.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович И. А. (отв. за направление «Машиностроение и машиноведение»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Дубень И. В.** (отв. за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Г. И., кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь);

Белый А. В., академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь); **Девойно О. Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий (филиал Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть», Минск, Республика Беларусь);

Дремук В. А., кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Жигалов А. Н.**, доктор технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь; государственное научное учреждение «Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси», Могилев, Республика Беларусь); **Калугин Ю. К.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно, Республика Беларусь); **Карташевич А. Н.**, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», Горки, Республика Беларусь);

Клочков А. В., доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», Горки, Республика Беларусь); **Клубович В. В.**, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь); **Сиваченко Л. А.**, доктор технических наук, профессор (межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», Могилев, Республика Беларусь); **Томило В. А.**, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь); **Шелег В. К.**, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

Promoter: Educational Institution
"Baranovichi State University".

Editorial address:

21 Voykova Str., 225404 Baranovichi.
Phone: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Subscription indices: 00999 — for individual subscribers;
009992 — for companies.

The certificate of the registration of mass media № 1533
of 30.07.2012 issued by the Ministry of Information
of Belarus.

*In compliance with the order of the Higher Attestation
Commission of the Republic of Belarus from January 21,
2015 № 16 the scientific and practical journal "BarSU
Herald. Engineering Series" is included into the List of
scientific publications of the Republic of Belarus for
publishing the results of theses research on engineering
sciences (mechanical engineering and machines,
processes and machines of agroengineering systems).*

*Scientific-and-practical journal "BarSU Herald"
is included into RSCI (Russian Science Citation Index),
license agreement № 06-01/2016.*

Issued in Russian, Belorussian and English. The journal is
distributed on the territory of the Republic of Belarus.

Managing editor A. Y. Sidorenko
Technical editor L. N. Scherbuk
Desktop Publishing S. M. Glushak
Proofreader N. N. Kolodko

Signed print 27.10.2022. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox.
Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 14,00.
Acc.-pub. s. l. 9,00. Circulation of 100 copies.
Order . Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary
Enterprise "Slonim printing establishment". The state
registration certificate of the publisher, manufacturer and
publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2
of 25.02.2014. Address: 16 Hlyupin Str., 231800 Slonim,
Grodno region.

EDITORIAL BOARD

Kochurko V. I. (*editor-in-chief*), DSc in Agriculture, Professor, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Academician of the International Academy of Technical Education, academician of the International Academy of Pedagogical Education, Academician of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus, Professor of Department of Technical Support of Agricultural Production Processes and Agronomic Sciences (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Klimuk V. V. (*deputy editor-in-chief*), PhD in Economics, Associate Professor, first vice-rector (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Alifanov A. V. (*the series editor-in-chief*), Laureate of the State Prize of the Republic of Belarus in the field of science and technology, DSc in Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus; Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gorbach Yu. E. (*responsible for the topic area "Engineering Sciences"*) (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Zubritskaya L. S. (*ed. of texts in English*) (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Bogdanovich I. A. (*responsible for the area "Mechanical Engineering and Machine Science"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Duben I. V.** (*responsible for the area "Processes and Machines of Agro engineering Systems"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Aniskovich G. I., PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, the Republic of Belarus); **Bely A. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Devoino O. G.**, DSc in Technical Sciences, Professor, Head of the Innovative Research Laboratory of Plasma and Laser Technologies (branch of the Belarusian National Technical University "Research Unit", Minsk, the Republic of Belarus); **Dremuk V. A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Zhigalov A. N.**, DSc in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus; State scientific institution "Institute of Metal Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Mogilev, the Republic of Belarus); **Kalugin Yu. K.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Yanka Kupala Grodno State University", Grodno, the Republic of Belarus); **Kartashevich A. N.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klochkov A. V.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klubovich V. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Sivachenko L. A.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Interstate Educational Institution of Higher Education "Belarusian-Russian University", Mogilev, the Republic of Belarus); **Tomilo V. A.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus); **Sheleg V. K.**, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus).

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Горавский И. А., Жигалов А. Н., Винничек К. С. Технология и режимы аэродинамического звукового воздействия на осевой фрезерный инструмент из быстрорежущих сталей

Кебец А. В., Кривонос Ю. И., Бучик Т. Ю., Паранин С. Н., Спирин А. В. Исследование модельных индукторных систем на основе волокнистого нанокompозита мелкодисперсного сплава медь-ниобий

Малеронко В. В., Алифанов А. В., Милукова А. М., Богданович И. А. Моделирование процесса магнитно-импульсной обработки с предварительным нагревом осевого режущего инструмента

Милукова А. М., Алифанов А. В., Матяс А. Н., Толкачева О. А. Исследование физико-механических свойств ножей из стали 30X13 после магнитно-импульсной обработки

Патапаў У. А., Русан С. І., Сівачэнка Л. А. Камбінаваны метады сілавага аналізу прываднага механізма ланцужнага аграгата

Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Корольков А. С. Исследование влияния величины пробега легкового транспортного средства на плотность и температуру вспышки в открытом тигле моторных масел «Лукойл Люкс 5W-40» и «Нафтан Премьер 5W-40»

Шматов А. А. Многомерная оптимизация термогидрохимической обработки твердого сплава в гидрозоле оксидов цинка и молибдена

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Голубев В. С., Вегера И. И., Ходюш В. Е., Дробышевский П. С. Наплавка износостойких слоев на рабочие кромки противорезущих брусьев кормоуборочных комбайнов

Груданов В. Я., Ткачёва Л. Т., Белохвостов Г. И., Кунаш М. В. Новые направления в конструировании глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания

Китун А. В., Швед И. М., Бондарев С. Н., Скорб И. И. Оптимизация выбора оборудования для удаления навоза механическими стационарными средствами на животноводческих фермах и комплексах

Крупенин П. Ю., Крупенин Ю. А. Диагностирование доильной установки в переходных режимах работы

Михайлов К. М., Михайлов М. И. Влияние расположения ножей режущего барабана кормоуборочного комбайна на параметры его образующей

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

4 Goravskii I. A., Jigalov A. N., Vinnichak K. S. Technology and modes of aerodynamic sound impact on axial milling tools made of high-speed steels

16 Kebets A. V., Krivonos Y. I., Buchik T. Y., Paraniin S. N., Spirin A. V. Study of model inductor systems based on a fibrous nanocomposite of a finely dispersed copper-niobium alloy

24 Maleronok V. V., Alifanov A. V., Miliukova A. M., Bogdanovich I. A. Magnetic-pulsed process modeling with the axial cutting tool preheating

30 Miliukova A. M., Alifanov A. V., Matsias A. N., Tolkachova O. A. Study of physical and mechanical properties of knives made of 30X13 steel after magnetic pulse treatment

36 Potapov V. A., Rusan S. I., Sivachenko L. A. Combined method of force analysis of the chain unit drive mechanism

47 Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Korolkov A. S. The study of the influence of the mileage of a passenger vehicle on the density and flash point in an open crucible of Lukoil Lux 5W-40 and Naphthan Premier 5W-40 motor oils

53 Shmatov A. A. Multidimensional optimization of hard alloy thermo-hydrochemical treatment in zinc and molybdenum oxides hydrosol

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

65 Golubev V. S., Vegera I. I., Khodziush U. E., Drobyshevsky P. S. Surfacing of wear-resistant layers on the working edges of anti-cutting bars of forage harvesters

74 Grudanov V. Ya., Tkacheva L. T., Belokhvostov G. I., Kunash M. V. New directions in the noise mufflers design of reciprocating internal combustion engines

85 Kitun A. V., Shved I. M., Bondarev S. N., Skorb I. I. Optimization of the equipment selection for manure removal by mechanical stationary means on livestock farms and complexes

94 Krupenin P. Y., Krupenin Y. A. Diagnosis of the milking machine in transient operation modes

100 Mikhailov K. M., Mikhailov M. I. Influence of the cutting drum knives position of a forage harvester on the parameters of its generator

УДК 621.98.044.7

А. М. Милюкова¹, кандидат технических наук,
А. В. Алифанов^{1,2}, доктор технических наук, профессор,
А. Н. Матяс¹, О. А. Толкачева¹

¹Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», ул. Академика Купревича, 10, 220084 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 361 55 52, priemnaya@phti.by, annart@mail.ru

²Учреждение образования «Барановичский государственный университет», ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, alifanov_aav@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОЖЕЙ ИЗ СТАЛИ 30X13 ПОСЛЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

В статье изложены результаты исследования физических и механических свойств, а также микроструктуры поверхности коррозионно-стойкой стали 30X13. Эта марка стали широко применяется для изготовления режущих инструментов (в том числе хозяйственных ножей) и посуды. В целях повышения периода стойкости и качества режущего инструмента использована перспективная технология упрочняющей магнитно-импульсной обработки. Магнитно-импульсная обработка применяется на готовых металлических изделиях, а также для получения заготовок изделий путем формообразующих операций из листовых и трубных материалов (алюминиевые и стальные сплавы). В работе применены различные методы исследования свойств поверхности стали 30X13 до и после магнитно-импульсной обработки (металлографический анализ, экспресс-метод измерения импеданса скин-слоя, трибологические испытания).

Ключевые слова: режущий инструмент; ножи; режущая кромка; коррозионно-стойкая сталь; магнитно-импульсная обработка; свойства; упрочнение; стойкость.

Рис. 5. Табл. 1. Библиогр.: 11 назв.

A. M. Miliukova¹, PhD in Technical Sciences,
A. V. Alifanov^{1,2}, DSc in Technical Sciences, Professor,
A. N. Matsias¹, O. A. Tolkachova¹

¹State Scientific Institution "Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus", 10 Academician Kuprevich Str., 220084 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (29) 361 55 52, priemnaya@phti.by, annart@mail.ru

²Educational Institution "Baranovichi State University", 21 Voykova Str., 225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, alifanov_aav@mail.ru

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF KNIVES MADE OF 30X13 STEEL AFTER MAGNETIC PULSE TREATMENT

The article presents the research results of physical and mechanical properties as well as the surface microstructure of corrosion-resistant steel 30X13. This steel grade is widely used for manufacturing cutting tools (utility knives) and houseware. In order to increase the durability period and the cutting tool quality, the perspective technology of hardening magnetic-pulse treatment has been used. The magnetic-pulse treatment is applied at finished metal products as well as for obtaining of the product billets by forming operations from sheet and piping materials (aluminum and steel alloys). The applied research methods of surface properties of 30X13 steel before and after the magnetic-pulse treatment (metallographic analysis, rapid method of measuring voltage in the skin layer, tribological tests) are given.

Key words: cutting tool; knives; cutting edge; corrosion-resistant steel; magnetic pulse treatment; properties; hardening; resistance.

Fig. 5. Table 1. Ref.: 11 titles.

Введение. Низкая износостойкость режущей кромки режущего инструмента приводит к необходимости частой заточки. При эксплуатации не следует доводить режущий инструмент до износа, превышающего установленные оптимальные значения, которые принимают за критерий износа. Необходимо следить за состоянием режущей части инструмента и своевременно его затачивать. Однако наибольший износ ножей происходит в результате очень частой заточки, что приводит к уменьшению их долговечности [1; 2]. На характер износа ре-

жущих кромок лезвия ножа влияет множество факторов. К основным факторам можно отнести следующие: физико-механические свойства материала режущего инструмента; материал, который подвергается резанию; режимы резания; параметры инструмента и исходное состояние режущих кромок.

Известно множество способов повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента — от применения дорогих высоколегированных сталей и сплавов и оригинальных конструкций до использования трудоемких и экологически грязных технологий: азотирование, цементация, нанесение различных покрытий и др.

В статье [3] изложены результаты сравнительных испытаний в производственных условиях дереворежущих ножей (сталь 6ХС) торцово-конических фрез фрезерно-брусующего станка, которые были изготовлены с использованием термической обработки, термической обработки в сочетании с магнитно-импульсной обработкой (далее — МИО), термической обработки с ионно-плазменным азотированием. Поверхностное упрочнение готовых ножей с использованием технологии МИО позволило получить технологическую стойкость, превосходящую на 20 % стойкость ножей, изготовленных по другим технологиям, и ножей импортного производства.

Упрочняющую МИО применяют на готовых металлических изделиях. Ее осуществляют воздействием импульсами электромагнитного поля определенной напряженности в специальной магнитно-импульсной установке (МИУ) с использованием индукторной системы и с возможностью управления технологическими режимами импульсной обработки. Известно, что МИО наиболее эффективна при воздействии на металлические поверхности с различными дефектами, появляющимися в результате технологических операций (термических, механических). Дефекты кристаллической решетки частично устраняются, выравниваются остаточные внутренние напряжения, в некоторых материалах меняется структурно-фазовый состав. При воздействии импульсов сильных магнитных полей может измельчаться структура поверхностного слоя металлического материала на глубину до 300 мкм; уменьшаются остаточные внутренние напряжения, соответственно, снижается трещинообразование, что обеспечивает повышение прочности изделий и увеличивает их срок эксплуатации. Упрочнение методом МИО непосредственно связано с неоднородностью материала стали, локальным выделением теплоты вблизи границ зерен при протекании индукционных токов, деформационными и магнитострикционными эффектами [4—6].

Многочисленные эксперименты и испытания в лабораторных условиях и на производстве показывают, что в результате МИО разнообразные инструменты, применяемые в деревообрабатывающей, машиностроительной, пищевой отраслях промышленности как на предприятиях Республики Беларусь, так и за рубежом, повышают свои эксплуатационные показатели до двух раз [7]. Известно, что применение МИО по сравнению с известными методами упрочнения имеет ряд преимуществ: не используется экологически небезопасное оборудование и материалы, геометрические параметры упрочненных изделий не меняются, при этом метод позволяет с высокой эффективностью повысить качество поверхности, что очень важно для режущего инструмента [8—11]. Использование метода МИО не предусматривает применение каких-либо покрытий или имплантации химических элементов, что обеспечивает соответствие необходимым гигиеническим нормам и безопасную работу режущего инструмента.

Материалы и методы исследования. В целях проведения исследований микроструктуры, физических и механических свойств поверхности использованы заготовки ножей универсальных (рисунок 1), изготовленных из коррозионно-стойкой стали.



Рисунок 1. — Заготовки ножа универсального НУС-1 (ОАО «Красный металлист»)



Рисунок 2. — Установка МИП-18 с запасаемой энергией в 15 кДж

Заготовки ножа разрезали на части в целях изготовления образцов различных размеров для проведения исследований: химического состава стали, твердости и микротвердости, микроструктуры, износостойкости и др.

Анализ химического состава на сертифицированном атомно-эмиссионном спектрометре СРЕКТРОТЕСТ показал, что заготовки ножей изготовлены из коррозионно-стойкой стали 30X13.

В целях повышения эффективности упрочнения коррозионно-стойких сталей использовалась разработанная в Физико-техническом институте НАН Беларуси полуавтоматическая МИУ МИП-18, представленная на рисунке 2, с максимально запасаемой энергией в 15 кДж. По сравнению с существующими МИУ она обладает меньшей длительностью и большей частотой импульса, что, соответственно, повышает коэффициент полезного действия. Так, МИП-18 позволяет увеличить эффективность магнитного воздействия на инструмент из коррозионно-стойких и тугоплавких марок стали.

Упрочнение режущей кромки плоского ножа толщиной 1 мм и длиной 300 мм проводили с использованием плоского индуктора диаметром 140 мм.

На металлографическом комплексе МГК-1 с оптическим микроскопом проведены исследования изменений микроструктуры поверхностного слоя подготовленных шлифов образцов. Было проведено травление реактивом Nital и фотографирование поверхности образцов в исходном состоянии и после МИО.

Проведены измерения микротвердости HV поверхности на компьютеризированном микротвердомере Duramin 5 (с погрешностью измерений 2 %).

Сравнительное исследование износостойкости проводили на машине трения TRIBO-3.

Результаты исследования и их обсуждение. В целях исследования влияния МИО на образцы из коррозионно-стойкой стали 30X13 применили энергию воздействия 10 кДж с различным количеством импульсов (таблица 1).

С использованием вышеуказанного оборудования проведены исследования образцов стали 30X13 до и после МИО в целях изучения изменения их физических и механических свойств и определения оптимального технологического режима МИО, который существенно увеличит долговечность режущих ножей.

Металлографические исследования показали на ряде образцов изменения микроструктуры поверхностного слоя после МИО (рисунок 3).

Микроструктура поверхности поперечного сечения образцов, обработанных при 10 кДж, показывает образование модифицированного уплотненного слоя с мелкодисперсной структурой глубиной до 40 мкм (см. рисунок 3, б).

Т а б л и ц а 1. — Технологические режимы МИО образцов стали 30X13

Маркировка образца	Энергия воздействия, кДж	Длительность воздействия, количество импульсов
1	10	1
2	10	2
3	10	3
4	10	4

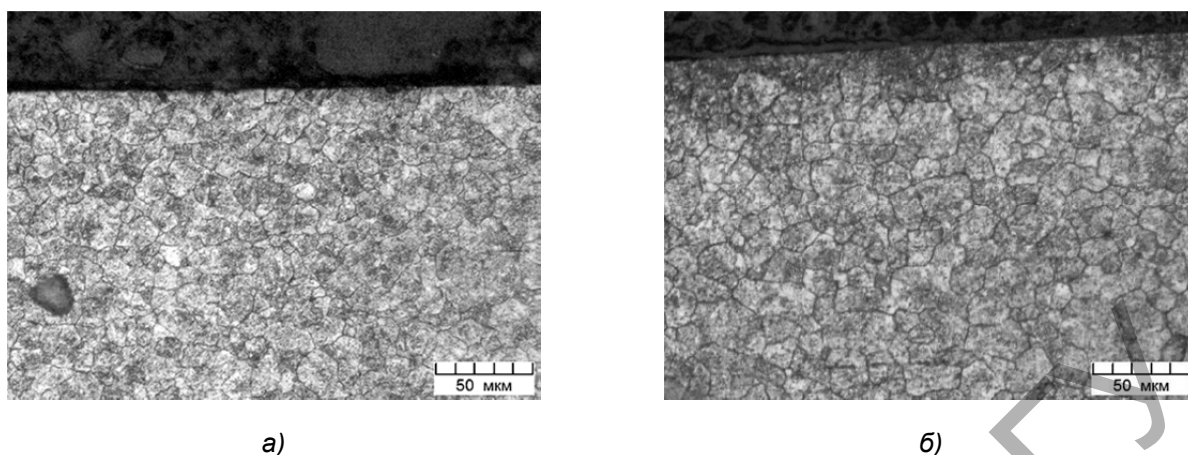


Рисунок 3. — Микроструктура поверхностного слоя образца стали 30X13 до (а) и после МИО (б) по режиму 4 импульса с энергией 10 кДж

Среднее значение микротвердости HV_{50} поверхности до обработки было 4,7 ГПа, после МИО при 3 импульсах стало 6,4 ГПа (повышение на 35 %), а при 4 импульсах — 4,97 ГПа (относительно начального значения повышение на 5 %). Следовательно, оптимальным режимом МИО для повышения микротвердости является режим 3 импульса с энергией 10 кДж, а при 4 импульсах происходит перегрев образца и, соответственно, снижение микротвердости.

Сравнительное исследование износостойкости на машине трения стальным шариком диаметром 6 мм при нагрузке 20 Н со скоростью 155 мм / с необработанного образца и двух образцов после МИО (4 импульса 10 кДж) показало, что коэффициент трения увеличился на 50 %. Это свидетельствует об ухудшении трибологических свойств под воздействием примененного режима МИО, который привел к перегреву образца, как было указано выше.

В целях определения рационального технологического режима МИО применяли экспресс-метод исследования свойств поверхностного слоя, основанный на проявлении скин-эффекта при прохождении через металлический образец тока высокой частоты от 1,00 до 0,05 МГц. В результате этого эффекта переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется по сечению не равномерно, а преимущественно в поверхностном слое до 300 мкм. Поскольку при магнитно-импульсном упрочнении происходит воздействие именно на поверхность изделия, то анализ результатов скин-эффекта позволит говорить о качестве упрочнения (однородность, балл зерна и др.). На разработанном и внедренном в лаборатории магнитно-импульсных технологий электроизмерительном комплексе, представленном на рисунке 4, был реализован вышеуказанный метод.

Полученные экспресс-методом результаты представлены на рисунке 5. На графиках показано изменение импеданса (напряжения) при прохождении синусоидального тока по поверхности до и после МИО на различной глубине.

Из графиков зависимости напряжения от количества электромагнитных импульсов с энергией 10 кДж каждый (см. рисунок 5) видно, что после первого импульса происходит небольшое уменьшение напряжения, что говорит о снижении электросопротивления при прохождении синусоидального тока высоких частот в связи с уменьшением количества различных структурных дефектов и снижением остаточных внутренних напряжений. После второго импульса напряжение и, соответственно, электросопротивление возросли по причине мгновенного появления мелких зерен и увеличения количества межзеренных границ, что соответствует периоду первичной рекристаллизации. Однако уже после третьего импульса и последующих импульсов напряжение и электросопротивление уменьшились в связи с быстрым увеличением размеров зерен и уменьшением количества межзеренных границ, что свойственно периоду вторичной рекристаллизации.



1 — генератор сигналов специальной формы Г6-28; 2 — генератор сигналов специальной формы многофункциональный Г6-34; 3 — вольтметр В7-46; 4 — источник питания постоянного тока Б5-43; 5 — генератор сигналов специальной формы Г6-37; 6 — осциллограф С1-65; 7 — измерительная ячейка

Рисунок 4. — Электроизмерительный комплекс для исследования влияния режимов МИО на изменение импеданса (напряжения)

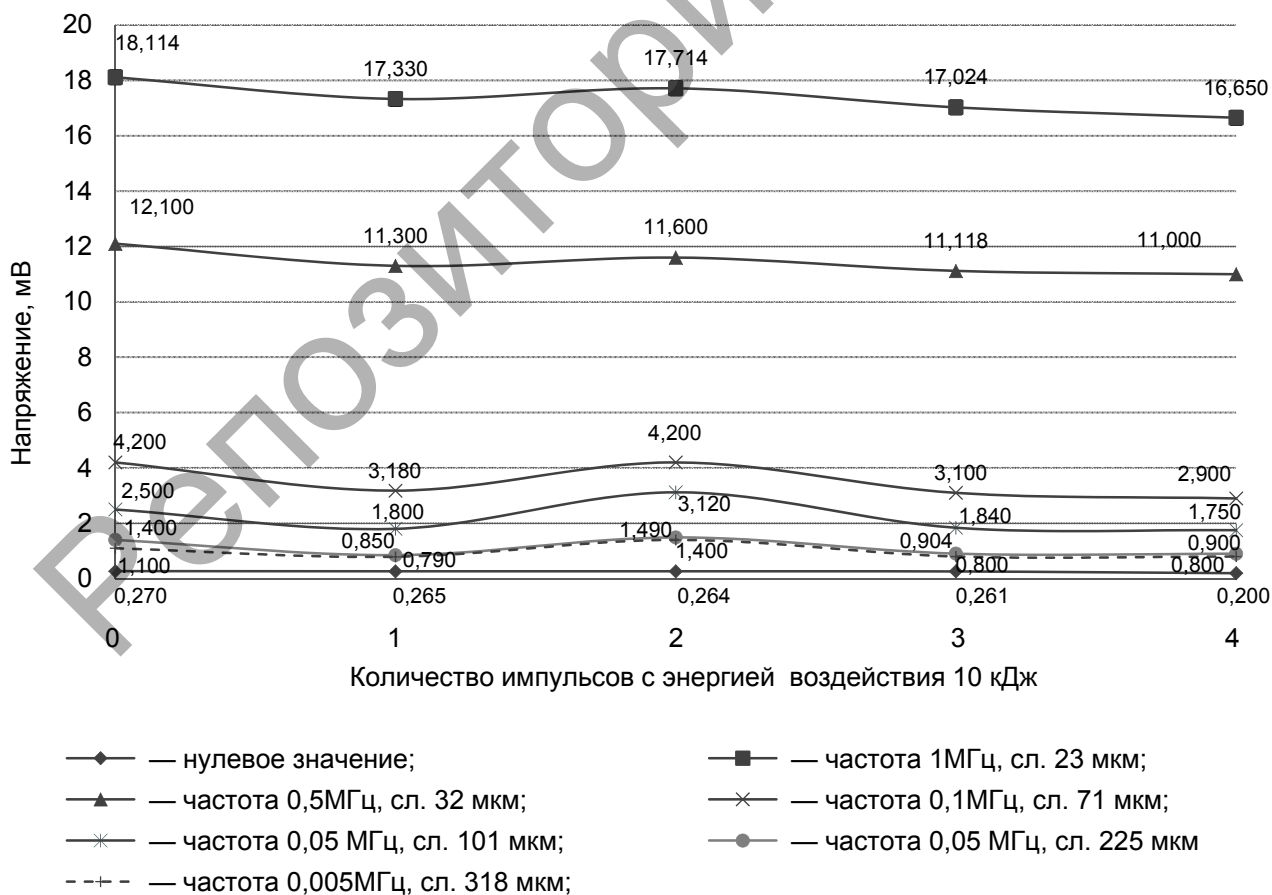


Рисунок 5. — Зависимость потенциала от длительности воздействия (при прохождении синусоидального тока по поверхности до и после МИО)

Полученные результаты показывают, что оптимальным режимом МИО является 2 импульса с энергией 10 кДж, так как именно мелкозернистая однородная структура обеспечивает поверхностные слои обрабатываемых изделий (в данном случае ножей из стали 30X13) максимальной прочностью и износостойкостью.

На основании проведенных исследований и полученных данных можно определить оптимальный технологический режим упрочнения МИО ножа НУС-1 из коррозионно-стойкой стали 30X13 с режущей кромкой, заточенной с двух сторон: с энергией воздействия 10 кДж, 2 импульса с каждой стороны с переворотом. Эти данные позволят разработать технологию упрочнения режущих инструментов, изготовленных из коррозионно-стойкой стали 30X13.

Заключение. Результаты проведенных исследований микроструктуры, физических и механических свойств поверхности коррозионно-стойкой стали 30X13 показали, что под воздействием МИО среднее значение микротвердости HV_{50} поверхности составило 6,4 ГПа (повышение на 35 %). На микроструктуре поверхностного слоя обнаружено образование модифицированного уплотненного слоя глубиной до 40 мкм с мелкодисперсной структурой. Полученные результаты показывают, что оптимальным режимом МИО является 2 импульса с энергией 10 кДж, так как именно мелкозернистая однородная структура обеспечивает поверхностные слои обрабатываемых изделий (в данном случае ножей из стали 30X13) максимальной прочностью и износостойкостью.

Список цитированных источников

1. Башков, В. М. Испытание режущего инструмента на стойкость / В. М. Башков, П. Г. Кацев. — М. : Машиностроение, 1985. — 136 с.
2. Гринь, С. А. Улучшение эксплуатационных характеристик куттеров путем создания новой конструкции ножей / С. А. Гринь, О. М. Филенко, А. А. Телюк // Вісн. НТУ «ХП». Сер.: «Нові рішення в сучасних технологіях». — Харків: НТУ «ХП». — 2012. — № 66 (972). — С. 14—19.
3. Динамика технологической стойкости ножей с модифицированной поверхностью фрезерно-брусующей машины в условиях производства / И. К. Клепацкий [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр.: в 3 кн. ; редкол.: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2020. — Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки С. 97—104.
4. Алифанов, А. В. Физика процесса магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий, расчет индукторов и параметров процесса / А. В. Алифанов, Д. А. Ционенко, А. М. Милюкова // Перспективные материалы и технологии / под общ. ред. В. В. Клубовича. — Витебск : ВГТУ, 2017. — Гл. 2. — С. 31—52.
5. Малыгин, Б. В. Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин / Б. В. Малыгин. — М. : Машиностроение, 1998. — 130 с.
6. Магнотриксционный механизм образования мелкодисперсной структуры в стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии / А. В. Алифанов [и др.] // Вес. Нац. акад. наук. Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. — 2016. — № 4. — С. 31—36.
7. Милюкова, А. М. Прогрессивные технологии упрочнения магнитно-импульсным воздействием металлических изделий для различных отраслей промышленности / А. М. Милюкова // Технологии. Оборудование. Качество : сб. докл. симп. 2 семинара в рамках Белорус. промышл. форума 2018, Минск, 29 мая — 1 июня 2018 г. / В. С. Харитончик [и др.]. — Минск : Бизнесофсет, 2018. — С. 164—168.
8. Особенности влияния электромагнитного импульсного поля на тонколистовые стальные изделия / А. М. Милюкова [и др.] // Сб. науч. тр. ФТИ НАН Беларуси : в 3 кн. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. — Кн. 1. — С. 182—189.
9. Улучшение эксплуатационных характеристик стальных режущих инструментов сложного профиля, упрочнённых комбинированной магнитно-импульсной обработкой / А. М. Милюкова [и др.] // Механ. оборудование металлург. заводов. — 2018. — № 2. — С. 17—22.
10. Матяс, А. Н. Повышение работоспособности куттерных ножей методом магнитно-импульсной обработки / А. Н. Матяс, А. М. Милюкова, Н. В. Бурносов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. / редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси. — 2022. — Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. — С. 151—158.
11. Матяс, А. Н. Исследование влияния магнитно-импульсного воздействия на шероховатость поверхности инструментальной стали / А. Н. Матяс, А. И. Горчанин, А. М. Милюкова // Сб. науч. тр. ФТИ НАН Беларуси. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2019. — С. 246—254.

Поступила в редакцию 10.10.2022.